

UNTERSUCHUNGEN ZUR DOSIMETRIE AN PUNKTFÖRMIGEN
RADIOAKTIVEN TEILCHEN

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von
Gerhard M. Schmidt-Burbach
aus Frankfurt/Main

Frankfurt am Main, 1969

Mit Genehmigung der Fakultät zum Druck gekürzt.
Ein Exemplar der ungekürzten Arbeit liegt in der Senckenbergischen
Bibliothek der Universität vor.

Dekan : Prof. Dr. H. Berckhemer

Erster Berichterstatter : Prof. Dr. Drs. B. Rajewsky

Zweiter Berichterstatter: Prof. Dr. E. Schopper

Dritter Berichterstatter: Prof. Dr. R. Schlögl

Tag der mündlichen Prüfung : 2. April 1969



Durch die Inkorporation radioaktiver Stoffe werden im biologischen Gewebe Stellen lokaler Energieablagerung, sogenannte "hot spots" geschaffen. Diese lassen sich sowohl bei verschiedenen, zur Inkorporation gelangenden radioaktiven Nukliden, wie auch bei verschiedenen Arten der Applikation (Inhalation, Injektion) beobachten. Diese "hot spots", ebenso wie "heiße Teilchen" von Atom-bomben-Versuchsexplosionen, verursachen im biologischen Gewebe eine inhomogene Strahlenbelastung. Die Kenntnis deren Verteilung in der Umgebung solcher Aktivitätszentren ist die Voraussetzung für eine Aufstellung der Beziehung von Strahlendosis und Strahlenwirkung bei inhomogener Aktivitätsablagerung.

Ein "hot spot" stellt also eine Strahlenquelle dar, die im Hinblick auf die die Strahlungsenergie absorbierenden Gewebeschichten in der üblichen optischen Definition nicht als "punktförmig" angesehen werden kann, wenigstens nicht bis zu Abständen des Aufpunkts von der Oberfläche des "hot spot" von $\sim 40 \mu\text{m}$.

Da in der unmittelbaren Teilchenumgebung keine sicheren Kenntnisse der Dosisverteilung vorliegen, wird in der vorliegenden Arbeit zur experimentellen Bestimmung der Dosisverteilung die bei einem "heißen Teilchen" im biologischen Gewebe existierende Situation simuliert, d.h. es werden künstliche radioaktive Teilchen hergestellt, diese mit $0,6 \mu\text{m}$ bis $885 \mu\text{m}$ dicken gewebeäquivalenten Absorberschichten homogen umgeben und die in jenen absorbierte Energie bestimmt.

Die radioaktiven Teilchen wurden aus Plexiglas und einer organischen Scandiumverbindung hergestellt. Dazu wurden Scandiumoxinat und Plexiglasgranulat mittels Dichlormethan zur Lösung gebracht,



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550827_0127

diese mit einem geeigneten Emulgator versetzt und durch Schütteln in feinste Tröpfchen verteilt. Nach Abdampfen des Lösungsmittels (Siedepunkt 40°C), wobei die Emulsion in eine Suspension übergeht, bleiben Perlen in Kugelgestalt zurück. Jede dieser Perlen enthält nun in homogener Verteilung den Kunststoff und die organische Scandiumverbindung. Der Durchmesser der Teilchen betrug $5\text{ }\mu\text{m}$ bis $20\text{ }\mu\text{m}$.

Zur Aktivierung der so hergestellten Teilchen wurden diese im Reaktor der Gesellschaft für Kernforschung in Karlsruhe mit thermischen Neutronen bestrahlt. Es wird dargelegt, daß hierbei lediglich über die Reaktion ${}^{45}_{21}\text{Sc} + n \rightarrow {}^{46\text{m}}_{21}\text{Sc}$ das instabile Isotop Sc-46 erzeugt wird, das unter Emission von β -Teilchen und Gammaquanten zerfällt. Die Aktivität einzelner Teilchen wurde gammastrahlenspektrometrisch mit einer mittels Zn-65 bekannter Aktivität kalibrierten Meßanordnung durchgeführt.

Diese Teilchen wurden nun schrittweise mit gewebeäquivalenten Kunststoffschichten homogen umgeben und die jeweils noch nach außen gelangende Strahlenenergie in einem hinreichend dicken LiF-Einkristall eingefangen und über die Thermolumineszenz des Kristalls gemessen. Dabei wurde der bestrahlte Kristall in einer eigens für diesen Zweck konstruierten Apparatur auf einem Tantalblech aufgeheizt. Die hierbei emittierten Strahlungsquanten gelangten über einen Lichtleiter auf die Photokathode eines Photomultipliers. Der von diesem kommende Strom wurde über einen Präzisionswiderstand geleitet, an dem der Spannungsabfall abgegriffen, in einem Elektrometer verstärkt und auf einen Kompensations-

schreiber gegeben wurde.

Mittels dieser Differenzenmessung wurde die Verteilung der Energieabsorption in Abhängigkeit von der Schichtdicke gemessen. Somit konnte die in den einzelnen Absorberschichten zur Absorption gelangte Energie prozentual angegeben werden. Über die gesamte zur Absorption gekommene Strahlenenergie (gemessene Aktivität des Teilchens; mittlere Energie pro β -Teilchen; Volumina der einzelnen Kugelschalen) konnte schließlich die Dosisleistung in Abhängigkeit von der Schichtdicke mit einer Fehlerbreite von $\pm 10\%$ ermittelt werden.

Ein Vergleich der so gewonnenen Meßergebnisse mit der Theorie war nur bedingt möglich, da bei der theoretischen Behandlung dieses Problems die Strahlungsquellen als "punktförmig" angenommen werden, was in Wirklichkeit aber nicht gegeben ist. Dies gilt auch für die Messungen anderer Autoren. Diese haben als Absorptionsmaterial Gase benutzt, d.h. die Absorberschichten um einige Zehnerpotenzen ausgedehnt, um zur Messung kleine Fingerhut-Ionisationskammern verwenden zu können, ohne die "Punktförmigkeit" ihres Strahlers zu beeinträchtigen. In den meisten Fällen entsprechen die Meßpunkte Absorberschichtdicken von $\geq 20 \mu\text{m}$, d.h. der erste Teil der in dieser Arbeit gemessenen Kurve wurde dabei nicht berücksichtigt.

Am Beispiel eines "heißen Teilchens" wird ein Vergleich der gemessenen Dosisleistungsverteilung mit den von LOEVINGER und SPENCER aufgestellten Theorien zur Berechnung der Dosisleistung in der Umgebung von Betastrahlen-Punktquellen durchgeführt. Dazu wurden die Meßdaten von den 1961 in Frankfurt/Main aufgefangenen

"heißen Teilchen" benutzt (mittlere Betastrahlenenergie 0,3 MeV, Aktivität $5 \cdot 10^{-11}$ Ci).

Die wichtigsten Ergebnisse der Messung der Energieabsorptionsverteilung und damit auch der Dosisleistungsverteilung lassen sich wie folgt zusammenfassen :

1. Bei einem Teilchen von $\sim 3 \cdot 10^{-9}$ Ci tritt in einer Entfernung von $1 \mu\text{m}$ in Gewebe eine Dosisleistung $\dot{D}$ von $\sim 10^4$ rd/h auf;
2. Im Bereich von $\sim 1 \mu\text{m}$ bis $\sim 10 \mu\text{m}$ Schichtdicke sinken die $\dot{D}$ -Werte langsamer ab, als es das $1/r^2$ -Gesetz erwarten läßt;
3. Von $\sim 20 \mu\text{m}$ bis $\sim 200 \mu\text{m}$ Schichtdicke verläuft die $\dot{D}$ -Kurve zwischen den nach LOEVINGER und SPENCER berechneten Kurven mit etwa gleicher Neigung und
4. zeigt die $\dot{D}$ -Kurve nach einem Anstieg bei einer Schichtdicke von etwa $270 \mu\text{m}$ ein ausgesprochenes Maximum. Dieses Maximum liegt im Bereich der Reichweite der von Sc-46 emittierten (primären) Elektronen und ist auf die hier auftretende hohe Ionisierungsdichte dieser Elektronen im Absorbermaterial zurückzuführen.

Die wesentlichen Unterschiede der vorliegenden Messungen gegenüber der Theorie sind erstens der weniger steile Abfall der experimentell ermittelten Kurve (Dosisleistung aufgetragen gegen die Schichtdicke) bei kleinen Schichtdicken (bis zu etwa $20 \mu\text{m}$) gegenüber dem theoretisch durch das $1/r^2$ -Gesetz gegebenen Kurvenverlauf und zweitens zeigt sich im Bereich von $\sim 240 \mu\text{m} - 350 \mu\text{m}$ ein ausgeprägtes Maximum der Dosisleistung. Berücksichtigt man aber, daß die beiden Theorien davon ausgehen, daß die gesamte radioaktive Substanz in einem Punkt konzentriert ist, während sich diese bei einem radioaktiven Teilchen tatsächlich über ein Kugelvolumen verteilt, dann wird die erste Abweichung plausibel.

Die Ergebnisse der hier durchgeführten Messungen zeigen, daß sich das Problem der Dosisleistungsverteilung bei inhomogener Aktivitätsablagerung im biologischen Gewebe mit den von SPENCER und LOEVINGER ausgearbeiteten Theorien (bis auf Schichtdicken von $\approx 20 \mu\text{m}$) befriedigend darstellen läßt.

LEBENS LAUF

Am 19. Oktober 1936 wurde ich als Sohn des Bundesbahnbeamten Karl Schmidt und seiner Ehefrau Miña-Maria, geborene Ziegert in Frankfurt am Main geboren.

Im Jahre 1942 trat ich in Frankfurt am Main in die Volksschule ein und wechselte 1947 in das Wöhler-Realgymnasium über. 1955 verließ ich diese Anstalt und begann eine Lehre als Maurer, die ich im Herbst des Jahres 1957 mit dem Gesellenbrief abschloss (Mein damaliges Berufsziel war das Studium der Architektur). Gleichzeitig besuchte ich das Abendgymnasium in Offenbach am Main und legte dort am 24.3.1958 das Abitur ab.

Zum Sommersemester 1958 immatrikulierte ich mich an der Universität Frankfurt am Main für das Fach Physik. Nach bestandener Diplomvorprüfung am 25.11.1960 fertigte ich am Institut für Experimentalphysik unter der Leitung von Professor Dr. H. Schröder eine Diplomarbeit mit dem Thema : "Untersuchungen der in MgF_2 -Schichten beim Aufdampfen und bei Temperaturbehandlung auftretenden Spannungen" an und legte am 30.7.1964 die Diplomprüfung für Physiker ab.

Ende des Jahres 1964 trat ich in das Max-Planck-Institut für Biophysik in Frankfurt am Main ein und beschäftigte mich dort unter der Leitung von Professor Dr. B. Rajewsky mit der Dosimetrie in der Umgebung von inkorporierten, radioaktiven Partikeln, die zu der vorliegenden Dissertation führte.

Meine akademischen Lehrer waren die Professoren :

R. Baer, E.-A. Behrens, F. Beck, . Burger, M. Czerny, H. Dänzer, L. Genzel, G. Haase, H. Hartmann, W. Martienssen, R. Moufang, B. Mrowka, H.A. Müser, W. Pohlitz, H.J. Queisser, B. Rajewsky, P. Royen, H. Schröder, G. Süßmann, . Steinwedel, K. Wezler, Th. Wieland.

